

## 大量のGUI操作履歴を分析するための走査・再生ツール

森 孝弘 西田 知博 齊藤 明紀 都倉 信樹

mori@ics.es.osaka-u.ac.jp

大阪大学 基礎工学部

日常操作履歴を用いたユーザの行動分析を支援する操作履歴閲覧ツールについて述べる。本ツールにおいては閲覧形式として操作の再生と、経過時間を横軸にした入力装置状態のグラフ表示の2つを提供する。また、日常操作履歴を用いた分析を行う場合、どうしても大量の操作履歴を扱うことが必要となるため、効率のよい閲覧を支援するものとして操作系列の検索を行えるようにする。このときの操作パターンの指定はマウス移動や打鍵といった1つのイベントを1つの記号とみなすことによる正規表現風の記法によって行う。今後このツールをユーザの行動分析の場において利用していく予定である。

## A Scanning and Playback Tool for Analysis of Enormous User Operation Log

Takahiro Mori Tomohiro Nishida Akinori Saitoh Nobuki Tokura

Faculty of Engineering Science, Osaka University

This paper describes a scanning and playback tool for analysis of user behaviors in ordinary operation logs. In this tool, we present playback of user operations and graphic representation of states of input devices. To analyze user behaviors sufficiently we usually need to treat the large quantity of data, so it demands efficient scanning and playback. In this tool, we can find a portion of the user operation by specifying pattern. To specify a user operation pattern, we use an extended regular expression by regarding one event as one symbol. We are going to use this tool to analyze user behaviors.

## 1 はじめに

近年、グラフィカルユーザインタフェース (GUI) が広く使用されるようになったが、よりよい GUI を設計・構築をするためにはユーザモデルの構築をはじめとした、ユーザの行動・操作についての理解が重要である [1][3]。通常このようなユーザの行動分析は統制実験をもとに行われる。しかし、このような環境では被験者は実験であるという特別な意識をもってしまうため、日常時とは異なる操作を行ってしまう可能性が高い [7]。

その対処として考えられるのがユーザの日常操作履歴をもとにした解析を行うというものである。例えば文献 [4][6] では日常環境のもとで行われている目標選択操作に着目し、統制実験による場合との差異についての調査を行っている。このように日常操作履歴を使用した解析を行うことにより、日常生活での GUI 操作が実験環境下での操作とどのように異なるかを調べることができる。このほか、長時間の作業を行う場合の操作内容の変化やユーザがウインドウをどのように使用する傾向があるなど実験では調査が難しいものに対しても日常操作履歴を用いた解析は有用である。

この日常操作履歴を用いた解析は着目すべき操作を決定したのち、該当する操作部分の切りだし、操作に関する定量的なデータの抽出、抽出されたデータの統計的解析という順序で行われる。このとき、どのような単位で操作の切りだしを行うのが適当か、またどのようなデータを抽出すべきかといった解析手法の決定が大きな問題になる。例えば目標選択操作についての研究 [4] の場合、最終的な選択位置と選択に要した時間についての分析を行ったが、これ以外にも目標選択操作中のマウス移動速度や移動方向などの面について調べてみることも考えられる。このためにも、それぞれの操作履歴においてユーザがどのように操作を行っているかを閲覧できることが必要である。その結果、興味深い点が見つければその点についてデータを抽出し、統計的な解析を行うなどより詳しい調査を行うのである。また、統計的な解析によって得られた結果について検証する場合においても、個々の操作履歴について、得られた結果のような操作が実際になされているかを調べてみる必要があるであろう。

しかし、操作履歴を直接眺めても実際の操作内容を

知るのには難しい。そこで、操作履歴をわかりやすい形で閲覧できるようなツールが求められる。このとき注意しなければならないのは扱うべき操作履歴量が大量であるということである。日常操作履歴には種々の操作が混在して記録されており、その結果ある操作について十分なデータを得るためには膨大な量の操作履歴が必要となる。しかも、解析結果が個人の癖に左右されないよう多人数の操作履歴を用いるため扱うべき操作履歴量はさらに大きくなる。例えば文献 [5] の中で解析に使用した操作履歴はのべで約 4000 時間分にもおよぶ。このような背景から、操作履歴の閲覧ツールにおいては大量の操作履歴の使用を考慮に入れる必要がある。

効率良い操作履歴の閲覧・解析を助けるものとして操作の検索および抽出があげられる。種々の操作が混在する中から特に見たい操作だけを選び出すことができれば閲覧の効率は大きくあがるだろう。同様に指定した操作パターンにマッチした操作部分を自動的に切り出すことができれば解析時に大きな助けとなる。本研究においては以上のような点を考慮にいたした上で、文献 [5][6] で紹介されている手法によって得られるユーザの日常操作履歴を閲覧するツールの設計・試作を行った。

## 2 操作の閲覧方式

操作の閲覧形式としてまず考えられるのが、ちょうどビデオテープの再生をするような形でユーザの行った操作を再生するというものである。この方法は全体の操作内容を直観的に知るのに適しているといえる。

しかし、大量の操作履歴すべてを再生するには膨大な時間を要する。もちろん、操作履歴全体を眺めてみることで思わぬ発見があることも考えられるが常にそうしていたのでは効率が悪過ぎる。もし、ある程度着目すべき操作がはっきりしているのであれば、それ以外の操作について再生させることは無駄である。そこで、効率良い調査のために、ある特定の操作系列を検索できる機能を用意する。

問題は操作系列をどう指定するかという点であるが、操作履歴を記号列とみなすことによって正規表現による文字列検索と類似した指定方法をとることが可能となる。操作パターンの指定方法については

4節で詳しく述べることにする。

一方、操作内容を表現する方法として、再生が全面的に優れているわけではない。例えばマウスの移動スピードの変化や打鍵間隔といった時間的な側面は再生だけではわかりにくい。そのような点に関する解析を支援するものとして、本ツールでは経過時間を横軸としたグラフ表示を用意する。このグラフにおいてはマウス移動スピード、マウスボタンの使用状態、打鍵のタイミングといったことを図示する。さらにこれらの図示情報を再生内容と対比させることによって操作内容についてのより詳しい理解を得られるようにする。これについては5節においてさらに詳しく述べる。

以上のように本ツールにおいては、2つの閲覧形式を提供するほか、操作系列の検索機能により、効率の良い操作履歴の閲覧環境を提供する。

```
MN 210 70 310452303 0 1241
MN 211 72 310452313 0 1241
MN 212 74 310452323 0 1241
MN 212 75 310452335 0 1241
MN 212 76 310452381 0 1241
MN 212 77 310452394 0 1241
MN 212 78 310452411 0 1241
MN 212 79 310452502 0 1241
EN 12582999 212 80 310452513 0 1 0
EN 12583000 212 80 310452513 0 0 0
MN 212 81 310452532 0 1260
MN 213 82 310452564 0 1260
MN 214 84 310452575 0 1260
MN 215 86 310452586 0 1260
MN 215 88 310452598 0 1260
MN 215 89 310452611 0 1260
MN 215 87 310452693 0 1260
BP 12583000 215 87 310452763 0 1 1260
BR 12583000 215 87 310452897 256 1 1266
TT 12583000 -1 -1 230 20
OP 12582999
```

図 1: 操作履歴の一部

### 3 操作の再生

ここでは操作の再生について何をどのように再生するかについて述べるが、その前に本ツールへの入力となる操作履歴について触れておく。

#### 3.1 対象とする操作履歴

我々はこれまでに X ウィンドウシステム上のウィンドウマネージャ `twm, fvwm` への改造による日常操作履歴の収集を行ってきた [5][6]。

X ウィンドウシステムはサーバクライアント方式の GUI システムであり、打鍵やマウス操作といったユーザの入力に関する情報およびウィンドウの更新情報を X イベントという形でサーバから得ることができる。我々はウィンドウマネージャに改造を施すことによってこの X イベントを記録するようにしている。またウィンドウマネージャが保持しているウィンドウに関する情報の記録も行っている。操作履歴の主な内容は以上の2つの記録であり、この記録を用いて操作の再生が可能となる。

操作履歴の記録はウィンドウマネージャの起動された瞬間からはじまり、ウィンドウマネージャの終了で終る。普通ウィンドウマネージャの起動・終了はログイン時、ログアウト時に起こるので、1つの操作履歴はユーザのログインからログアウトまでを記録したものになる。

操作履歴の例を図 1 に示す。このように、記録は 1 行単位で行われており、それぞれは 1 つの X イベントもしくはウィンドウマネージャが保持していたウィンドウ情報に対応する。例えば図中、タグ MN (Motion Notify イベント) で始まる行はマウスの移動を表す X イベントの記録であり、最初の 2 つの項目が移動中のマウスポインタの座標を、3 つめの項目がタイムスタンプを表している。また、タグ OP で始まる行はウィンドウマネージャによって記録された情報であり、ウィンドウの重なりが変更されたことを表している。

#### 3.2 再生内容

本ツールにおいては入力として与えられた日常操作履歴を 1 行ずつ読んでいき、ユーザの操作を表すイベントを読んだところで、その操作の再生処理を行っていく。再生内容は以下のとおりである。

- マウスの動き。

操作履歴中のイベント MN を利用し、マウスポインタの軌跡を表示する。ただし、軌跡によって画面が見にくくならないよう、マウスボタンが使用されたところおよび打鍵が行われたところで軌跡のクリアが行われる。

- マウスボタンの使用

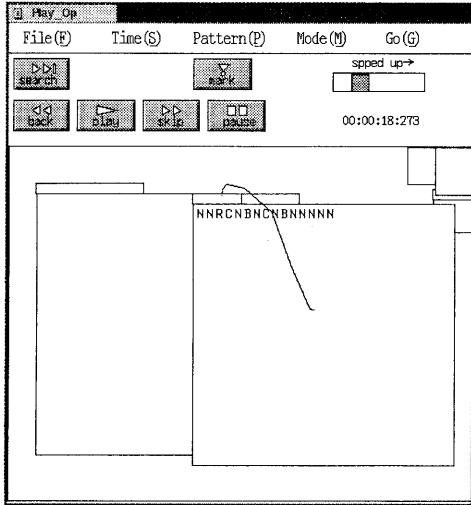


図 2: 操作の再生

マウスボタンが押されたこと、離されたことはビープ音によって知らされる。また、ドラッグ中であることを軌跡の色の変化によって通知する。

● 打鍵

キー入力が行われたウインドウに打鍵内容を表示する。ただし、プライバシーの問題からアルファベットキーや数字キーの内容は記録されていないので、表 1 のように特殊キーの場合のみ打鍵内容が表示される。

表 1: 打鍵内容の表示例

B	Back space キー
C	Control キー
D	Delete キー
E	Escape キー
R	Return キー
S	Shift キー
N	通常キー (アルファベット, 数字キーなど)

● ウインドウの表示

操作履歴からウインドウに関する情報を再構成する部分については文献 [5] の研究の中で実現されている。本ツールではその情報をもとに操

作が行われている瞬間のウインドウの様子を再現する。

● 操作時間の表示

ウインドウマネージャが起動されて最初にユーザが何らかの操作を行った瞬間からの総経過時間を表示する。

### 3.3 特殊な再生

操作の再生を行う場合、興味深い部分についてはじっくり見たかったり、繰り返してみたいものがある。逆にどうしてもいい部分は流して見たいものである。また、もう一度バックして見逃した部分を見たい場合もある。本ツールでは以上のような要求にこたえるために、次のような特殊再生の機能を持たせる。

● 再生速度の変更

再生ツールの右上部にあるスライドバーによって再生速度の変更を行うことができる。

● スキップ、バック

skip ボタン, back ボタンにより、操作履歴のある時間分進めたり戻したりすることができる。進める (戻す) 時間は変更できるようになっている。

● マーキングおよびマーキング箇所への移動

スキップ、バック、マーキング箇所への移動は基本的には操作履歴中のどこを読むかを変更すればよいのだが、それだけでは問題が残る、再生中のウインドウ状況の整合をはかる必要がある。

スキップの場合は操作履歴を読み進める中でウインドウの変化を再生に反映させるだけでよいが、バックの場合はそうはいかない。バックする場合はウインドウの変化情報をもとに、ウインドウ状態の復元を行わないといけない。

これを解決するための方法は具体的には次のような形になる。操作履歴を読み進めるときにウインドウの何らかの変化をみつけたら、操作履歴中での位置、変化の内容 (新しく生成したのか、重なりが変わったのか、大きさや位置が変わったのか、アイコン化されたのかなど) および変化前のそのウインドウの状態を記録しておく。そして操作履歴中のある地点まで戻る場合には、その地点より後で起きたウインドウ

の変化について復元を行う。例えば、大きさに関するウインドウの変化よりも前に戻ることになれば、もとの大きさにウインドウを Resize しなければならないし、新たに作成されたという変化よりも前に戻る場合であればそのウインドウの削除を行わなければならない。

## 4 操作系列の検索

本ツールにおいては、あらかじめ指定された操作パターンのパターンマッチングおよびマッチング箇所への移動ができる。この操作パターンの指定方法について以下で述べる。

### 4.1 操作パターンの指定

3.1節でも述べたとおり、操作履歴は1行が1つのイベントを表している。この1つのイベントを1つの記号とみなすことによって、一般の正規表現による文字列検索のような形で操作系列の検索を行うことができる。操作パターンの指定方法は以下のとおりである。

表 2: イベントを表す文字

	イベント名	内容
E	EnterNotify	マウスポインタがウインドウへ入った
K	KeyPress	キーが押された
L	LeaveNotify	マウスポインタがウインドウから出た
M	MotionNotify	マウスポインタの移動
P	ButtonPress	マウスボタンが押された
R	ButtonRelease	マウスボタンが離された

- 表 2 のようにアルファベット 1 文字がそれぞれのイベントを表すものとする。
- 大かっこ [ ] で囲まれたイベントを表す文字の集合はそのうちの任意の 1 つのイベントと一致する。最初に ^ がついた場合にはそれらのイベント以外の 1 つのイベントと一致する。

– (例)[KPR] :

KeyPress イベント, ButtonPress イベント,

ButtonRelease イベントのうちの任意の 1 イベントと一致。

– (例)[^KPR] :

KeyPress イベント, ButtonPress イベント, ButtonRelease イベント以外の任意の 1 イベントと一致。

- 閉包  $x^*$  は 0 個以上の  $x$  に一致し,  $x^+$  は 1 個以上の  $x$  に一致する。また  $x^?$  は 0 個または 1 個の  $x$  に一致する。
- 連結  $xy$  は  $x$  の後に  $y$  が続くものに一致する。
- 選択  $x|y$  は  $x, y$  いずれかに一致する。
- $(x)$  は  $x$  の表すものに一致する。なお、演算子の優先順位は  $( ), [ ], *, +, ?$ , 連結, 選択の順である。

このようにパターンの指定方法は UNIX の grep コマンドや Perl スクリプトでのパターンマッチにならっており、操作系列の指定をする場合の違和感と比較的小さいと思われる。

さて、以上のようなパターン指定方法により、イベントの並び方の指定は行うことができる。しかし、これだけでは操作系列の検索を行うためには十分ではない。例えば、イベントの並び方の指定だけではマウスの移動が一旦止まった後再び再開されるような部分を見つけることは不可能である。このような指定のためには 2 つのマウス移動イベント M のタイムスタンプの差が  $n$  秒以上というような条件の指定が必要がある。次の節では操作系列検索のための条件の指定方法について述べる。

### 4.2 条件の指定

条件の指定もイベントの並びを表す部分に含まれるというやり方も考えられるが、指定内容がわかりやすくなるよう、イベントの並びの指定部分と条件の指定部分とを分割して記述するようにする。実際にはイベントの並びについて指定するときに、条件が加えられるイベントには P1, M2 のように後ろに数字のタグをつけておき、そのタグを用いて条件の記述を行う。このときの条件の記述方法を表 3 に示す。もし条件が複数あるときにはコンマで区切るものとする。

例えばマウスが  $n$  ミリ秒静止した部分は次のように指定できる。

$$M1M2, d(1,2) > n$$

なお、表 3 からもわかるように、条件の指定には対象が 1 つのイベントですむものと、2 つのイベントにまたがるものがある。例えばマウスポタンの対象物がタイトルバーであるような ButtonPress イベントという条件は ButtonPress イベント 1 つを対象とした条件である。一方前述したようなタイムスタンプの差を考慮するような条件は 2 つのイベントにまたがるような条件である。

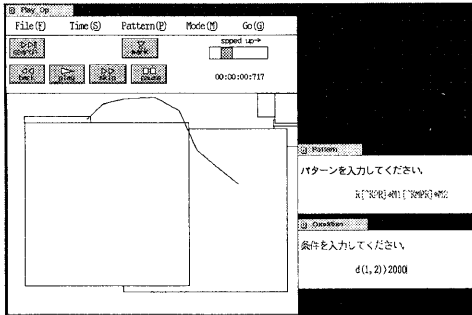


図 3: 操作パターンの指定

表 3: 主な条件指定

条件指定	意味
$d(x, y) > z$	タグ $x, y$ がついたイベントにおけるタイムスタンプの差が $z$ ミリ秒より大きい。 > を <, =, ≤, ≥ としたときも同様.
$t(x) = z$	タグ $x$ のついたイベント (ButtonPress, ButtonRelease に限られる) での目標物が $z$ . $z$ としては title (タイトルバー), root (ルートウィンドウ, 背景) などを指定できる
$k(x) = z$	タグ $x$ のついた KeyPress イベントの打鍵内容が $z$ .

### 4.3 切り分けられた操作の検索

文献 [5] において、ポインタの移動が連続して行われている操作を 1 つの操作単位として切り分ける手

法が示されている。そこでは操作の切れ目として

- マウスポタンが押された
- マウスポタンが離された
- 打鍵イベントが発生
- 一定時間以上ポインタの動きがない

の 4 つをあげてある。ここではそうして切り分けられた操作を 4.1, 4.2 節で述べた記述方法によりどう記述するかについて考えてみる。

例えば、マウスポタンが離された後に始まる一連のマウス移動操作で一定時間以上 (ここでは 2000 ミリ秒と仮定) マウスポインタの動きがないところまでの操作の指定は次のように行われる。

$$R[\wedge KPR]*M1[\wedge KMPR]*M2, d(1,2) > 2000$$

この場合  $M1$  が一連のマウス移動で最後の Motion Notify イベントを  $M2$  が一定時間経過後再びマウス移動が再開されたことを表す Motion Notify イベントを表している。

またマウスポタンが離された後に始まり、マウスポタンが押下されるまでの操作の指定は次のようになる。

$$R[\wedge KPR]*P$$

ここでは、マウス移動が全くない場合でも 1 つの操作であるものと仮定している。なお、特にマウスポタンの押下対象がタイトルバーであるようなものを指定したい場合は次のような条件の付加が必要である。

$$R[\wedge KPR]*P1, t(1)=title$$

### 4.4 抽出部分の指定

通常、検索を行った操作について今後さらに詳しく調べていくためには、その操作部分を抜き出すという作業 (フィルタリング) を行うことが必要である。しかし、検索によってマッチした部分すべてが抜き出されるべきとは限らない。例えば先ほど例に出した一定時間以上マウスポインタの動きがないところで切れる操作について考える。

$$R[\wedge KPR]*M1[\wedge KMPR]*M2, d(1,2) > 2000$$

この場合、M2 にあたる MotionNotify イベントはむしろ次の操作に含まれるべきである。よって、このパターンに合致する部分すべてを抜き出すのは不適当だといえる。

そこで、実際に抽出される範囲を明示する記号として、 $\langle, \rangle$  を用いることにする。 $\langle, \rangle$  で囲まれた部分が本当に抽出すべき部分となる。上の例では

$$\langle R[\wedge KPR]^*M1 \rangle [\wedge KMPR]^*M2$$

とすればよい。

以上より 4.3 節の操作の切り分け方に従って操作単位の切り分けを行い、その 1 つ 1 つの操作単位についての抜きだしを行う場合は次のような記述となる。

$$\begin{aligned} & (M1[\wedge M]^*\langle M2 \rangle \langle [KPR] \rangle [\wedge KPR]^* \\ & (M3 \rangle [\wedge KMPR]^*M4 \rangle \rangle [KPR]), \\ & d(1,2) > 2000, d(3,4) > 2000 \end{aligned}$$

## 5 入力デバイスに関するアナライザ

再生は操作の概観をみせるという点では非常に優れているもののマウスの移動スピードや打鍵間隔といった側面についてまでの詳しい情報は教えてくれない。また各操作がどのようなタイミングで行われているのかについて知ることも困難である。

このような点に対処するために本ツールでは各操作の時間的な側面についての操作表示形式を用意する。以下、これを操作のアナライザと呼ぶものとする。アナライザの表示形式はサウンドエディタでの音声波形の表示方法によく似ている。

アナライザでは横軸が時間経過を表しており、その中でマウスの移動速度、マウスボタンの使用状況 (ボタンが押されている間線が引かれる)、打鍵 (1 打鍵ごとに円を表示) をみせてくれる。またマウスボタンが押されている状態でマウス移動が行われているところはドラッグを表しているというように 2 つの内容から操作内容についてさらに詳しく知ることができる (図 4)。

アナライザでは上部のスライダーを用いることによって分解度を変えることができる。分解度をあげることによってマウス移動速度変化や移動時間といった側面をより詳しくみることができる (図 5)。例えば図 5 からは最初の一連のマウス移動が行われた

後マウスボタンのクリックが行われ、続いてのマウス移動ののち打鍵がなされていることがわかる。また、特に 2 番目のマウス移動が非常に速いことがよみとれる。

操作の再生とアナライザには深い関わりが必要である。移動速度の変化だけわかって実際の操作内容がわからないのではあまり意味がない。このような操作だから移動速度に変化が起こっているという分析ができて始めて役に立つ。そこで、本ツールでは再生と同期してアナライザ中をポインタ (長い縦線) が移動することによりアナライザと操作内容の対応づけを可能としている。実は図 5 における最初のマウス移動はタイトルバーという比較的小さいものを目標としたものであるため、移動速度はそれほどでもないのに対して、2 番目のマウス移動はキーボードフォーカス操作という非常に大きい目標に対するものであるから、結果として非常に速度が速くなっている。再生内容との対応づけによってこのような点も知ることができる。

また、逆にアナライザ中の適当な場所をクリックすることで再生内容をその地点に移すことも可能となっている。このような 2 つの閲覧形式を組み合わせる使用することによってより詳しく操作内容の調査を行うことができる。

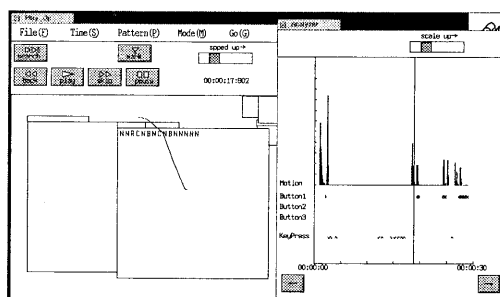


図 4: アナライザ使用時

## 6 まとめ

本稿では日常操作履歴を用いた解析を支援するための操作履歴の走査・再生ツールについて述べた。今後実現すべき機能として次のようなものを考えている。

- 操作パターンの指定方法

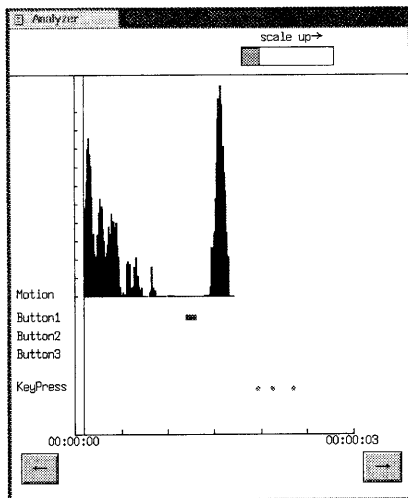


図 5: アナライザ (分解度をあげた場合)

4節で述べたようなパターンの指定方法は、厳密な指定が行える反面、指定にある程度手間がかかるのも事実である。そこで、よくあるパターンについては直接指定しなくとも候補から選ぶだけでよいようにするなどインタラクティブな指定方法も用意することを考えている。

- スナップショットの表示

これはある時間経過ごとの画面のスナップショットを表示していくものであり、ウインドウの使用方法を調べる場合などの助けとなると思われる。

- 複数の操作履歴の取り扱い

現在、本ツールは一つの操作履歴の扱いを想定している。しかし、個人差について調べたい時など複数の操作履歴を同時に取り扱う場合のサポートが必要であろう。

- 統計的な解析の支援

抽出した情報の整理や統計解析ツールの操作を本ツール上から行えるようにすることによって統合的な解析システムとしていくことは1つの目標となるだろう。

さらに、今後は本ツールを利用することによって、実際に日常での操作についての分析作業を行っていく予定である。

## 参考文献

- [1] Douglas,S.A,Mithal,A.K.: "The Effect of Reducing Homing Time on the Speed of a Finger-Controlled Isometric Pointing Device", Proceedings of the CHI'94 Conference on Human Factors in Computing Systems ,pp411-416(April 1994).
- [2] 来住伸子:" ネットワーク環境におけるユーザー操作記録の解析手法", 情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会報告 47-2,pp.7-14(1993).
- [3] MacKenzie,I.S.,Buxton,W.: "Extending Fitts' law to two-dimensional Tasks", Proceedings of the CHI'92 Conference on Human Factors in Computing Systems ,pp219-226(May 1992).
- [4] 森孝弘, 西田知博, 高田喜朗, 梅木良太郎, 齊藤明紀, 辻野嘉宏, 都倉信樹:" 実験環境と実使用環境における目標選択動作の比較", 情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会報告 61-3,pp.17-24(1995).
- [5] 西田知博, 森慎太郎, 森孝弘, 齊藤明紀, 辻野嘉宏, 都倉信樹:" GUIにおける実操作履歴の取得とその意図分析", 情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会報告 60-4,pp.25-32(1995).
- [6] 西田知博, 森孝弘, 佐藤貴之, 齊藤明紀, 辻野嘉宏, 都倉信樹:" 計算機演習室における GUI 操作履歴の収集と解析", 情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会報告 66-2,pp.7-14(1996).
- [7] Preece,J:"HUMAN-COMPUTER INTERACTION",Addison-Wesley,Reading,Mass.(1994).